

# 解析雑誌

Vol.1 2000.9

Journal of Analytical Engineering

## 【 Topics 】

「解析雑誌」創刊  
解析ホームページはこちら  
免震・制振パネルディスカッション開催  
解析セミナーのお知らせ

## 【 Technical Reports 】

地中防振壁による列車振動  
シミュレーション  
非線形有限要素法による  
プレストレストコンクリート梁の解析  
科学・工学のための計算機支援  
問題解決環境CAPSEの構築





## ご挨拶

私ども構造計画研究所は、昨年に会社設立40周年を迎え、本年にはお蔭様で株式の店頭公開もさせていただきました。これを機会に公開企業としての社会的責任を自覚して、さらに社会に貢献してゆきたいと考えております。

当社では、創業以来「大学・研究機関と実業界をブリッジするエンジニアリング企業」を経営理念としておりまして、独自の先進的な技術開発はもとより、大学や公的機関との共同研究・受託研究あるいは委員会参加などの公的活動などを通して、日進月歩の先進的技術をいち早く習得するとともに、それをお客様のニーズにつなげることを旨としてきました。

構造解析や数値解析の分野におきましても、当社の中核技術の一つとして様々な手法についていち早く注目して研究開発を重ね、皆様にソフトウェアや受託解析サービスを提供してまいりました。ここにきて私ども、本業界に基盤を置くリーダーカンパニーとしての責任を改めて認識するとともに、皆様の日頃のご愛顧に答える意をこめて、単なる先端技術の紹介ではなく、より実用的ニーズに答えて「先端の知見を実務に応用する例題」の紹介をミッションとする資料集として、当【解析雑誌】を刊行することといたしました。顧客の皆様方には参考事例集として活用していただけたら幸いかと存じます。

これからも構造計画研究所が提供するサービスの一層の活用をお願いいたしまして、【解析雑誌】刊行の挨拶とさせていただきます。

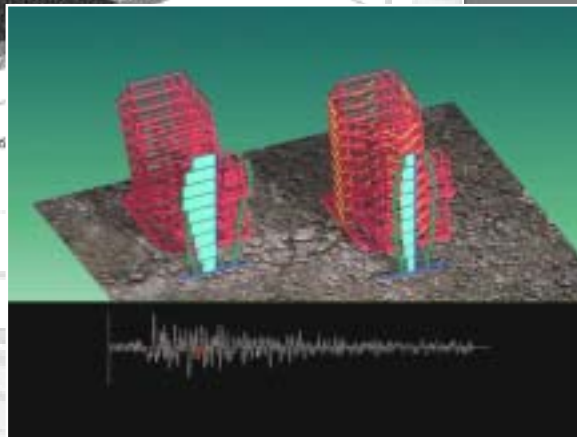
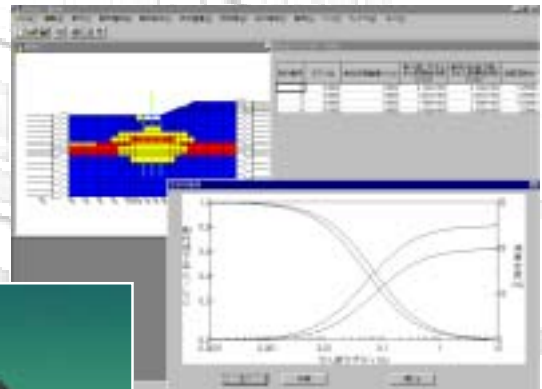
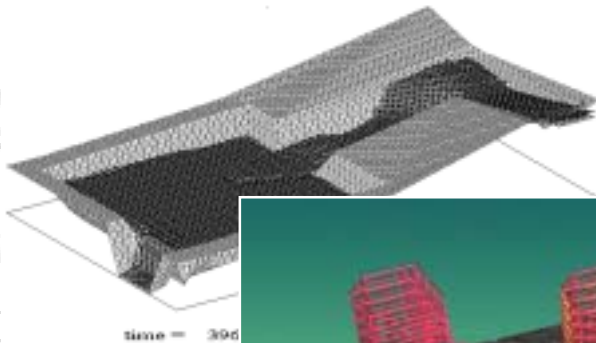
2000年9月吉日

取締役解析技術本部長 奥村光男

# タイムリーに、 チャレンジングに。

## 構造計画研究所の 解析コンサルティングサービス

建設各分野での解析技術に対するニーズは変化し続けています。  
構造計画研究所は40年近くもの間、これらのニーズにタイムリーに  
チャレンジングにお応えしてまいりました。  
蓄積されたノウハウと新たな問題を解決していくスキルを  
是非ご活用ください。



建築・土木の各種構造物の耐震解析    免震・制振構造の地震応答解析  
地盤と構造物の相互作用解析    地盤の安定解析    設計用入力地震動評価    リスク評価  
ビル風・室内空調シミュレーション    地下浸透流解析    河川・海域流況解析    ほか

## 解析雑誌 Vol.1 2000.9 目次

---

ご挨拶	奥村光男	03
-----	------	----

---

<b>Topic 1</b>		
「解析雑誌」創刊	お客様との協同成果発表の場を目指して	06
<b>Topic 2</b>		
解析ホームページはこちら		08
<b>Topic 3</b>		
免震・制振パネルディスカッション開催	カスタマカンファレンス 2000 にて	09
<b>Topic 4</b>		
解析技術セミナーのお知らせ		10

---

<b>Technical Report 1</b>		
地中防振壁による列車振動対策に関するシミュレーション解析		13
西村忠典・庄司正弘・原 文人・植野修昌・早川 清		
<b>Technical Report 2</b>		
非線形有限要素法によるプレストレスト・コンクリート梁の解析		17
川上 誠・伊藤忠彦		
<b>Technical Report 3</b>		
科学・工学のための計算機支援問題解決環境 CAPSE の構築		21
藤井義巳・保志克則・長嶋利夫・南 多善		

---

解析雑誌 Vol.1	読者アンケートのお願い	30
------------	-------------	----

---

# 「解析雑誌」創刊

お客様との共同成果発表の場を目指して

建築構造設計事務所として創業以来、私共（株）構造計画研究所（以下 KKE）にとって「解析」は常に重要な基幹技術の一つです。40 年近くにも渡り、建築・土木・製造業といった様々な分野に対応を拡大しつつ、各分野の構造・地盤・流体等に関する「解析」問題にタイムリーにチャレンジングに取り組んでまいりました。この間、各分野別の学会イベント等での研究的成果発表は精力的に行ってまいりましたが、そうした機会とは別に、KKE の解析技術の全体像を、横断的にご紹介する場を持つことはできないだろうか という発想から企画されたのが、この「解析雑誌 Journal of Analytical Engineering」です。

本誌は KKE がカバーしている様々な解析技術に関する知見やノウハウを、具体的な事例を通して、解析ソフトウェアや解析コンサルティングサービスをご利用いただいているお客様に定期的に情報発信していくことを目的としています。

創刊号にあたる本号で、まずは本誌のコンセプトをご紹介させていただきます。

## 1．多様なジャンルの情報をホットなうちに

次ページの解析技術年表でご覧いただける通り、KKE の解析問題への取り組みは多分野に渡ります。

本誌は敢えて毎号特定の分野に関する内容を集めるといった構成ではなく、できる限りホットな成果を公表可能になり次第、分野にこだわらずにご紹介していく技報イメージの構成を採用しました。したがって今後継続して刊行していく間には、全く異なる分野の話題をいくつか集めている号もあれば、たまたま特定分野に内容が集中している号もあることでしょう。いずれにせよ多くの読者の皆様にとっては、「自分の業務とは直接関係ないな」という話題が

毎号いくつか含まれていることになるのではないかと思います。しかしながら、KKE は適用範囲が特定の分野に限定されない解析技術も多く蓄積しています。実際にこれまでも、全く未経験分野の問題を過去の別分野の事例からモデル化や手法を類推し解決した例は少なからず存在しています。読者の皆様にも、ご自身の業務分野以外の事例が、最新あるいは特殊問題解決のヒントになることがあり得ると信じ、そうしたチャンスを生み出すような情報をご提供していきたいと考えています。

## 2．お客様との共同成果発表の場

KKE の解析実績のほとんどは、お客様からご相談を受けた問題を解決してきたものです。言い換えれば、ほとんどはお客様との共同成果なのです。このことから本誌でご紹介するテクニカルレポートは、可能な限りお客様と KKE 担当者の連名でご紹介させていただきたいと考えています。今後、解析作業のお手伝いをさせていただいた担当者や、プログラムのサポート担当から本誌での成果発表を連名でお願いする機会があるようでしたら、是非ともご事情の許す範囲でご協力をお願いします。もちろん、本誌での成果公表でご迷惑がかかることがないよう、細心の注意を払う所存です。

## 3．テクニカルレポートとトピックス

本誌は解析を伴う成果を目的、解析手法、解析結果、考察と知見のまとめ等で明確に述べた、報文形式によるテクニカルレポートを最も尊重した構成ですが、読者の皆様へ発信する解析技術情報として、この他に KKE がキャッチしている解析技術に関する

る内外最新動向、KKE 内でのソフトウェア開発状況、  
あるいは KKE 主催のイベント情報などをご紹介します

るトピックスも掲載していきます。どちらにもご期  
待ください。

表 1 解析技術年表

主要な解析関連実績	年 代	会社沿革
	1960	(株)構造計画研究所設立
	1965	大阪支所(現在支社)開設
FEMによる土堤・壁地盤の弾塑性解析 軟弱地盤上の剛体振動解析 地震波シミュレーション	1970	九州支所開設
岩盤の掘削クリープ解析 ダム軸が湾曲したフィルダムに関する研究 原子力発電所の為の断層解析 不飽和浸透流解析	1975	北海道支所開設
燃料棒非線形解析 岩盤内気体拡散シミュレーション フィルダム浸水沈下解析 建築物保有耐力計算 原子力発電所建屋耐震解析 SuperFLUSH	1980	
ガラス熱流動解析 原子炉建屋斜め入射解析 3次元乱流解析 格子モデルによる相互作用解析 キャスク落下衝撃解析 原子力発電所立地確認調査 超高層ビルの耐震検討	1985	新宿事務所開設 熊本構造計画研究所開設
原子力発電所耐震リスク評価 ガスタンク蓄圧シミュレーション 射出形成離形時そり解析 HOTFLOWによる熱流動解析 プラスチック射出形成CAE RESP-F RESP-M3 SuperFLUSH3D NANSSI RESP-F3 HOTFLOW		熊本構造計画研究所新社屋完成
地盤の液状化を考慮した地震応答解析 地下構造物の耐震解析 RESP-S	1990	福岡営業所開設
多柱列モデルによる地震応答解析 トンネル近接施工解析 免制震構造地震応答解析 人工島護岸の耐震解析 アーチ/フィルダム動的解析 高層RC地震応答解析 シールド近接施工 RESP-T RESP-F3D FRONT	1995	名古屋営業所開設
道路橋の耐震解析 鉄道構造物の耐震解析 設計用入力地震動 各ソフトWindows化	2000	本所新館完成
交通振動・環境評価解析 上下水道施設の耐震解析 AC-DESIGN WIND-DESIGN ACRSARS		

頻出テーマの業務本格化時期

トピックステーマ

ソフトウェア初版リリース(現在も販売中のもの)

今後の本誌が何よりも読者の皆様にとって有益な  
ものとなるよう、ご意見をいただきながら成長させ

ていきたいと思ひます。ご一読の上、是非とも巻末  
に記載の要領でご意見・ご要望をお寄せください。

## 解析ホームページはこちら

KKEの全社ホームページのURLは、  
<http://www.kke.co.jp> ですが、解析ソフトウェアとコンサルティングサービスに関する情報は、

<http://www4.kke.co.jp>

でご案内しています。まだご覧になられていない方は是非一度アクセスしてみてください。また、今後は従来にも増して「最新情報の発信」に心掛ける所存ですので、何度かご覧いただいて「変わっていない」と思われた経験がある方もご注目ください。

特にwww4の扉ページからの「お知らせ」はKKE解析関連のイベントやソフトウェア情報の、他のどのメディアからのアナウンスよりも早い最新情報になります。技術セミナー開催など予定は目白押しですでお見逃しなく。

また、解析ソフトウェアとコンサルティングサービスに関する一般的なお問い合わせには下記のメールアドレスをご利用ください。

[kaiseki@kke.co.jp](mailto:kaiseki@kke.co.jp)

お問い合わせ内容に応じて、問題に精通した担当者が迅速に対応させていただきます。

もちろん、すでにKKE個別の担当者の連絡先をご存知の方や、弊社ソフトをご利用いただいている方で当該ソフトに関するお問い合わせ用のアドレスをサポート担当からご連絡差し上げている方は、これまで通りそちらの方をお願いいたします。

解析ホームページと本誌は共にお客様への解析技術情報発信メディアとして、それぞれの特性を生かしつつシンクロさせていく予定です。





# 免震・制振パネルディスカッション開催

カスタマーカンファレンス 2000 にて

お客様とつながりをより密接なものとし、弊社の技術サービスについてご理解を深めていただく為の全社的行事として、KKE は「カスタマーカンファレンス」をほぼ隔年ペースで開催し、ご好評をいただいております。本年はその6回目となる「カスタマーカンファレンス 2000 e-Technology to the Next Century」をこの10月13日に開催します。

カスタマーカンファレンスでは多様な分野向けに、講演、ワークショップ、ソフトや業績の展示など様々な企画を用意しています。詳細は今後、先ほどご紹介した**全社ホームページ**や**解析ホームページ**等でご紹介してまいります。ここでは本誌読者の皆様には是非ともご注目いただきたい企画の概要をピックアップしてご紹介します。ご期待ください。

## パネルディスカッション

### 「これからの免震・制振構造」

日本大学 石丸 辰治 教授  
慶応義塾大学 北川 良和 教授  
東京工業大学 和田 章 教授  
弊社構造設計部 奥園 敏文(司会)

6月に建築基準法の改正が施行され、21世紀に向かって構造設計が、従来の仕様設計から設計者が耐震性能等を保証する性能設計へと移り変わろうとしています。

このような変革のなか、建物の耐震性能を効率的に向上させる構造形式として免震構造及び制振構造が非常に注目されています。

本セミナーでは、第一線でご活躍されている先生方をパネラーとしてお招きし、21世紀に向けたこ

れからの免震・制振構造について講演・討論していただきます。

## ワークショップ

### 「RESP(建築構造解析プログラム)の最新と展望」

近年の免震・制振の急激な発展を支えるべく機能強化を進めてきたRESP(建築構造解析プログラム)シリーズの最新状況及び今後の展望を紹介します。

### 「設計用入力地震動作成システムの活用法」

過去の被害地震、活断層等から建設地点における設計用入力地震動を簡易に評価するためのツールである「設計用入力地震動作成システム」について、機能概要・解析事例・操作性をご紹介します。

## 展示

「建築構造の高性能化を支援する構造解析プログラム」 RESP シリーズ  
「性能設計対応の設計用入力地震動作成業務をよりスピーディーに！」 設計用入力地震動作成システム

## カスタマー カンファレンス2000

*e-Technology to the Next Century*

2000 10/13(金) AM10:00~PM5:00

会場: 東京・新宿 ホテルセンチュリーハイアット

主催: 株式会社 構造計画研究所

TEL 03-5342-1136 FAX 03-5342-1236

## 解析技術セミナーのお知らせ

全社的なカスタマーカンファレンスのほかにも、KKE は様々な解析セミナーイベントを全国各地で企画しています。

例えばこの8月だけでもタイプの異なるふたつのセミナーを開催いたしました。

ひとつは東京の本所新館レクチャールーム(90名収容)において開催しました「土木解析セミナー2000」です。「橋梁の非線形動的解析」「軟弱地盤内の橋脚の地震時挙動」「PC桁のFEMによる非線形解析」あるいは「設計用入力地震動の考え方」といったホットな内容で最新の解析手法や事例を無料でご紹介し、ご好評をいただきました。

もうひとつは高度職業能力開発促進センター(高度ポリテクセンター:幕張)との提携で実施いたし

ました「建設構造技術セミナー」です。こちらは「建築構造物の弾塑性地震応答解析」のテーマで、10人程の方を対象に、パソコン上で解析ソフト(RESPIシリーズ)を運用していただきながら、中層建築の地震応答解析の一連の流れと解析上の留意点について解説いたしました(こちらは有料です)。

このように対象分野・形式・開催地などを変えて、またときには外部機関とも連携し、KKEの解析技術を身近に感じていただくための様々な企画を練っています。先にご紹介した解析ホームページから、順次実施予定をお知らせしていきますので、お見逃しなく。ここでは既に今後の日程が決定している、高度ポリテクセンターでの「建設構造技術セミナー」の今後の予定を掲載します。

コース番号	実施日程 平成12年度	コース名	講 習 内 容	詳細資料 請求番号
3-089-2	11/1 ~ 11/2	免震構造物の設計と地震応答解析技術	<p>阪神大震災以降、免震構造は、急速に普及し一般技術になりつつあります。本コースは免震構造物を設計する場合の手順、免振装置の設定方法、解析方法、入力地震動の評価方法等を解析演習を通して解説します。</p> <p>講義詳細:                      免震構造の概要と設計上の留意点                      免震デバイスの概要とその諸特性                      免震層を考慮した質点系モデルによる時刻歴地震応答解析                      対象者 構造設計実務者および免震構造の設計・解析に興味のある方                      講師 (株)構造計画研究所                      使用機器 ハードウェア:パソコン(Windows)                      ソフトウェア:振動解析ソフト(RESPIシリーズ)</p> <p style="text-align: right;">定員10名 20,000円</p>	489 (709)
3-090-1	10/3 ~ 10/4	制震構造の設計と解析	<p>制震構造は、新築構造物だけでなく既存不適格構造物の耐震補強の方法としても注目されています。本コースは制震構造の概要・設計における留意点及び、地震応答解析の手順・諸条件の設定等について解析演習を通して解説します。</p> <p>講義詳細:                      制震構造の概要と設計上の留意点                      制震デバイスの概要とその諸特性                      履歴系・粘性系制震装置による時刻歴地震応答解析                      対象者 構造設計実務者および制震構造の設計・解析に興味のある方                      講師 (株)構造計画研究所                      使用機器 ハードウェア:パソコン(Windows)                      ソフトウェア:振動解析ソフト(RESPIシリーズ)</p> <p style="text-align: right;">定員10名 20,000円</p>	490 (709)

上記の2セミナーに限り、お申し込み・お問い合わせは下記へお願いします。

雇用・能力開発機構 高度ポリテクセンター 事業課

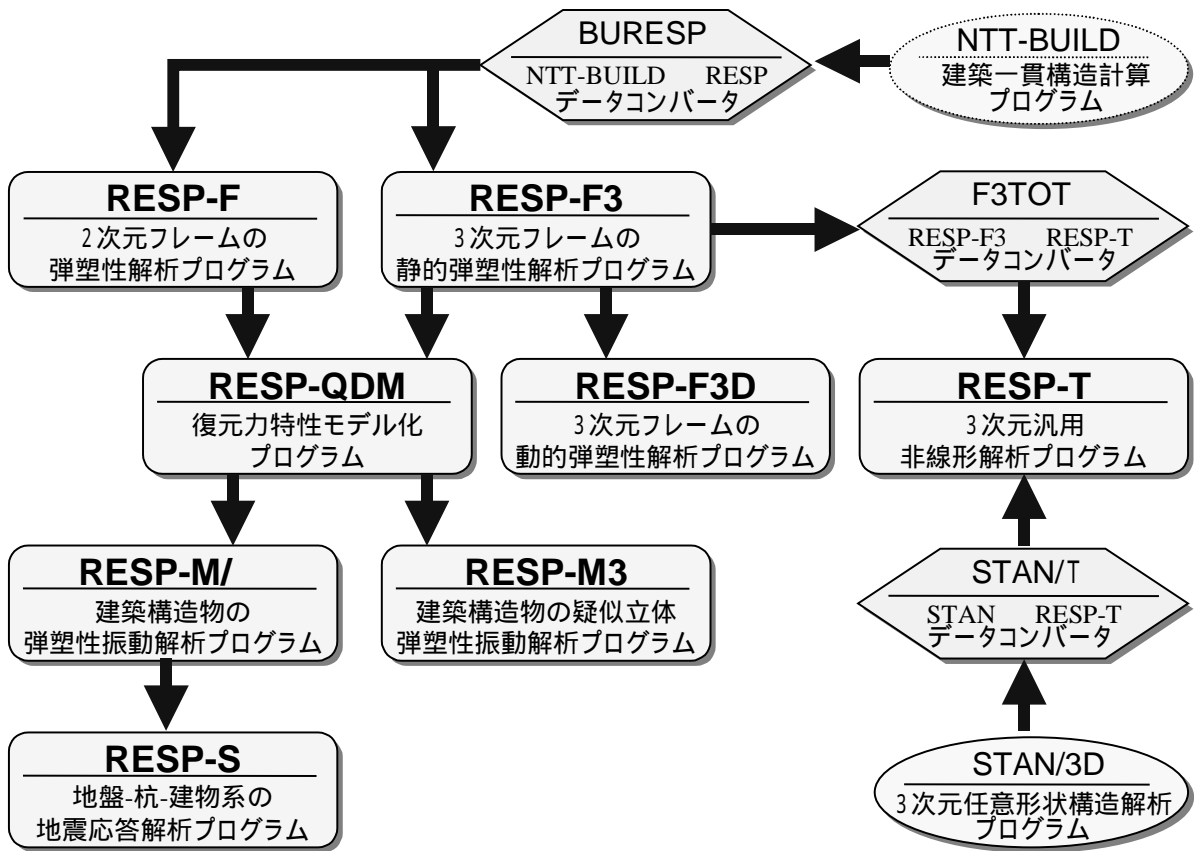
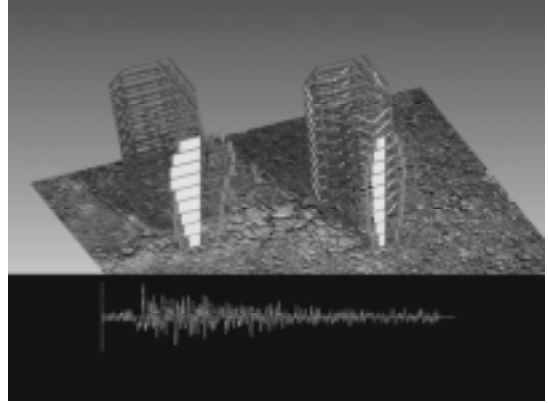
<http://www.apc.ehdo.go.jp>

〒261-0014 千葉県美浜区若葉3-1-2

TEL 043-296-2582 FAX 043-296-2585

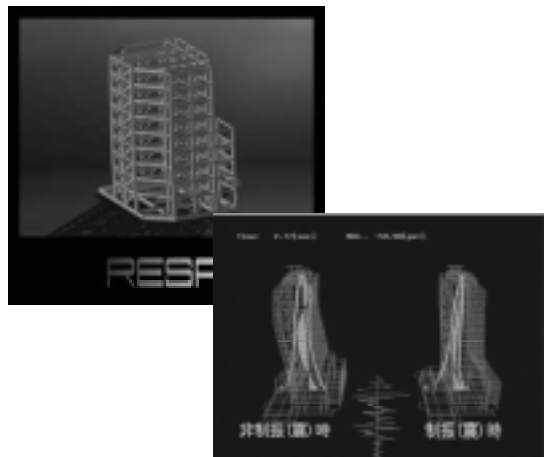
# 建築構造物の耐震解析プログラム RESPシリーズ

建築構造の高性能化を支援し続ける構造解析プログラム



## RESPシリーズ適用事例

- ・超高層建築の地震応答解析
- ・高層RC建築の地震応答解析
- ・免震構造解析
- ・各種制震構造解析
- ・不整形構造のねじれ応答解析
- ・非剛床構造の静的動的解析
- ・高層建築、免震建築の地盤-杭連成解析
- ・長大構造物の位相差入力解析
- ・大スパン構造物の上下動水平動同時入力解析
- ・高層建築の風応答解析
- ・建築構造物の機械振動、交通振動、歩行振動解析
- ・ドーム構造物の大変形解析、座屈解析



BUILDの開発元は(株)NTTデータです。

# 設計用入力地震動作成システム

地震荷重設定システム ..... *SeleS for Windows*  
模擬地震波作成プログラム ..... *ARTEQ for Windows*  
成層地盤地震応答解析プログラム ..... *k-SHAKE+ for Windows*  
波形処理プログラム ..... *k-WAVE for Windows*

設計用入力地震動作成システムは、免震構造物の設計には欠かせない模擬地震波や構造物の建設地域の地盤特性を考慮した入力地震動を手軽に作成できる Windows 対応の設計者のためのソフトウェアです。ユーザは、過去の被害地震や活断層から建設地点での地震動強さを評価し、表層地盤の増幅特性を考慮した、設計用入力地震動を簡易に作成することが可能です。



活断層による最大値一覧出力画面

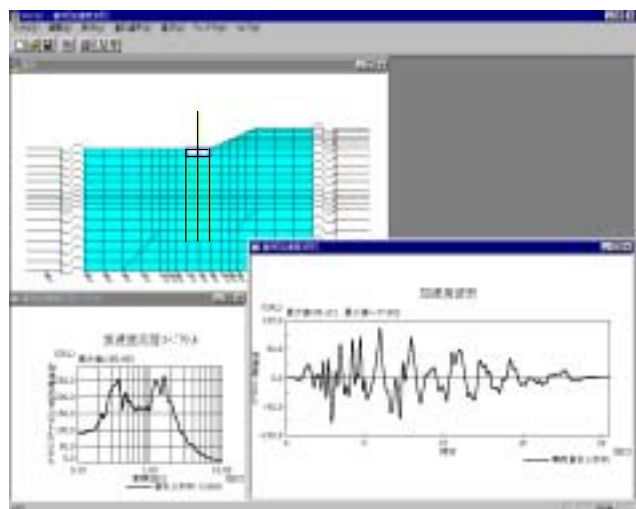
## 地盤と構造物の動的相互作用解析プログラム

# SuperFLUSH/2D for Windows

軟弱地盤に建設される橋梁や港湾構造物、既設埋設構造物との近接施工、異種地盤にまたがる長大橋等の耐震性照査に威力を発揮します。

有効応力解析手法による  
相互作用解析は...

## NANSSI



Super FLUSH/2DとNANSSIは（株）地震工学研究所と弊社の共同開発商品です。

# 地中防振壁による列車振動対策に関するシミュレーション

西村忠典<sup>1)</sup>・庄司正弘<sup>1)</sup>・原 文人<sup>2)</sup>・植野修昌<sup>3)</sup>・早川 清<sup>4)</sup>

- 1) 株式会社構造計画研究所 解析技術本部 地盤耐震グループ
- 2) 近畿日本鉄道株式会社
- 3) 大日本土木株式会社
- 4) 立命館大学理工学部

## 1. はじめに

本研究は、鉄道沿線での地盤振動に対する有効的な防振対策工の開発と、その振動低減効果を予測するための解析手法について検討することを目的としている。

既に筆者らは、鋼矢板防振壁による振動低減効果の確認実験<sup>1)</sup>を行い、その有効性を確認した。

本検討では、この振動遮断効果の確認実験結果を対象として、三次元解析モデルを用いて数値シミュレーション解析(強制加振解析)を行い、振動低減効果を実験結果と比較することにより解析手法の妥当性について検討を行った。

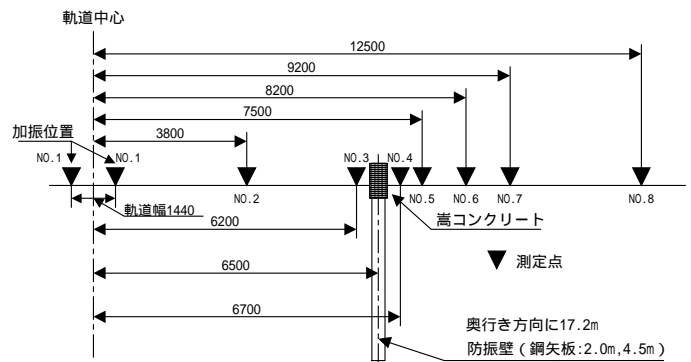


図1 測定点の位置

## 2. 振動実験結果

本検討では、軌道に平行に敷設した鋼矢板防振壁を圧入施工する際に、施工段階毎に測定した列車通過時の地盤上下方向加速度記録を対象とした。図1に測定点と軌道及び防振壁の位置関係を示し、表1に測定ケースを示す。また、図2に測定結果の距離減衰を加速度レベル(オールパス)で示す。

鋼矢板を打設することにより鋼矢板背面(No.4)での加速度レベルは、無対策に対して大きく減少するが、その後方の測定点 No.5 では、加速度レベルが増幅する傾向がある。

## 3. 解析方法

解析に際しては、以下のことに留意した。

矢板敷設長さ等に応じた矢板自身の振動特性を考慮する。

軌道欠線部で生じた振動が卓越することから、解析

表1 測定ケース

測定段階	対策	対策内容
STEP1	無対策	防振対策前
STEP2	鋼矢板2m打設	矢板を深さ2.0mまで打設
STEP3	鋼矢板4.5m打設	矢板を深さ4.5mまで打設
STEP4	鋼矢板4.5m打設+ 高コンクリート	矢板を深さ4.5mまで打設し 矢板頂部に高コンクリートを打設

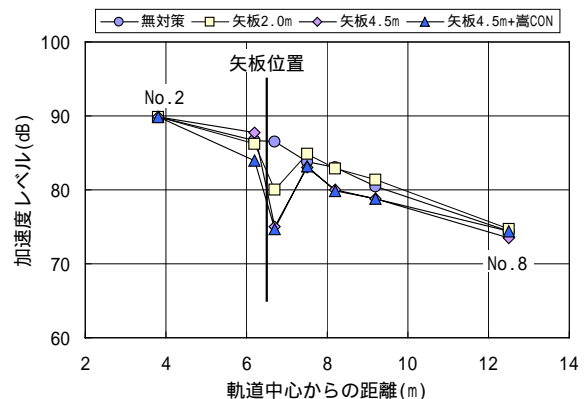


図2 測定結果の距離減衰  
(実測記録複数の平均)

で用いる加振力としては、軌道全体の線加振と欠線部の点加振の組み合わせとして考慮する。

地盤振動の三次元的な波動伝播特性を考慮する。

本解析では、地盤-防振壁系を動的サブストラクチャー法に基づいて三次元的にモデル化し、軌道を強制加振解析した際の地盤や防振壁の応答を算定した。すなわち、地盤は薄層要素法を用いて成層地盤として層分割し、防振壁は三次元 FEM でモデル化し、両者の力と変位の連続性や振動源(加振力)に対する地盤応答を薄層要素法による点加振解を用いて評価した。応答解析は複素応答法を用いて線形解析とした。

実際の解析では、No.2 の実測記録から振動源(No.1)での加振力(線加振と点加振)を逆算し、この加振力で軌道を上下方向に強制加振して各測定点での上下方向の加速度を算定した。なお、加振力の重み付けは線加振:点加振=1:10 と仮定し、線加振の長さは欠線部を中心として 20m とした。

#### 4 . 解析モデル

地盤の  $V_s$  は実測地点の試験データ(N値)を用いて次式<sup>2)</sup>から算定した。

$$\text{砂質土: } V_s=80N^{1/3} \quad \text{粘性土: } V_s=100N^{1/3}$$

$V_p$  は水位が地表面近くにあるため 1500m/s と仮定した。

表2に本検討で用いた地盤モデルを示す。地盤分割は、各層の  $V_s$  に応じて透過振動数 100Hz を満足するように波長の 1/6 以下とした。鋼矢板は、三次元 FEM によるシェル要素を用いて、等価な曲げ剛性となる平板としてモデル化した。解析プログラムは、Super FLUSH/3D<sup>3)</sup>を用いた。

表2 地盤モデル

	土質区分	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	せん断波速度 (m/sec)	減衰定数 (%)	層厚 (m)
1層	盛り土	16.66	170.0	5.00	0.60
2層	砂礫混じり細砂	16.66	170.0	5.00	0.80
3層	シルト混じり細砂	16.66	170.0	5.00	0.40
4層	シルト質細砂	16.66	180.0	5.00	1.40
5層	シルト	16.66	220.0	5.00	0.50
6層	砂礫	16.66	270.0	5.00	1.80
7層	シルト混じり細砂	16.66	150.0	5.00	1.00
8層	シルト	16.66	180.0	5.00	1.50
	基盤	16.66	300.0	5.00	

#### 5 . 解析結果

図3～6に加速度レベル(オールパス)の距離減衰を実測値と比較して示す。無対策の場合、解析結果と実測値の差は最大で約3dB程度であり、遠方の測定点ほど差が大きい傾向にあるが、距離減衰の傾向は比較的良く対応している。鋼矢板を打設した場合、矢板背面直後の測定点(No.4)では、無対策に比べて加速度レベルは減少している。実測値と比較すると低減量は小さいが、鋼矢板を打設したことによる低減効果が実測値と同様に認められる。

測定点 No.5 での加速度レベルの増幅は、矢板 4.5m 打設の解析結果に顕著に認められ、実測値と非常によい対応を示している。他の矢板打設ケースにも同様な傾向が認められ、かつその後の矢板背面の距離減衰の傾向は実測値と比較して良く対応している。

図7～9に矢板近傍での実測値と解析結果の振動加速度レベル(1/3 オクターブバンド)の周波数特性を示す。各測定点の周波数分布は、実測値と解析結果に 40～63Hz で卓越が認められ、両者の傾向は良く対応している。ただし、測定点 No.4 では、矢板 4.5m 等の実測値に見られる 20～40Hz の振動加速度レベルの減少が解析結果では十分に表現できていない。このような差異は、地盤物性を N 値から推定したことや、凸凹のある鋼矢板を平板としてモデル化したことなどにより、矢板の振動特性が精度良く表現できていないことに起因していると考えられる。

一方、距離減衰で顕著な増幅傾向が見られ実測値との対応が良かった No.5 の測定点の周波数特性は、実測値と解析結果が非常に良く対応している。

#### 6 . まとめ

本検討で用いた解析手法によって、防振対策工による振動低減効果を定性的に表現することができた。しかしながら、定量的には差異が生じているところもあり、地盤物性や防振壁のモデル化について、より詳細に検討を行う必要がある。また今後は、防振壁の振動特性が地盤振動に与える影響などについても検討を行う予定である。

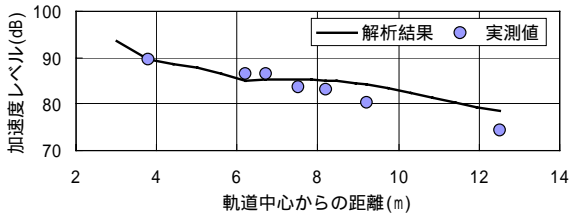


図3 距離減衰（無対策）

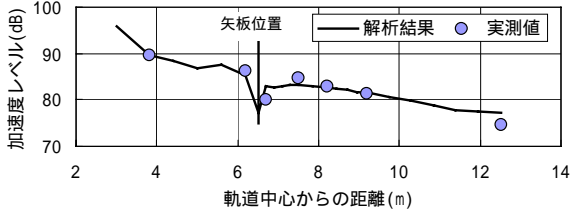


図4 距離減衰（矢板 2.0m 打設）

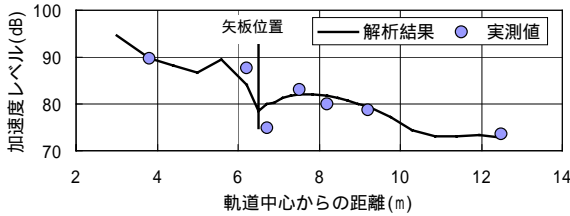


図5 距離減衰（矢板 4.5m 打設）

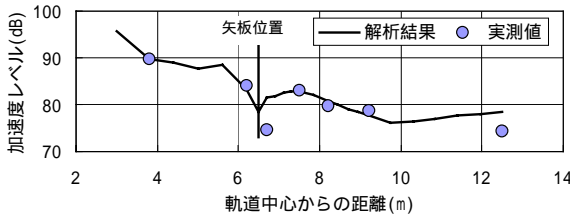


図6 距離減衰（矢板 4.5m 打設+高コンクリート）

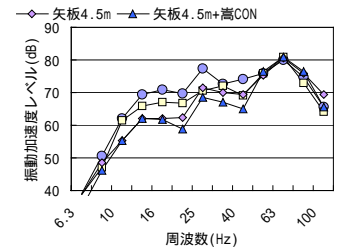
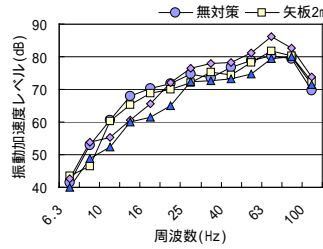


図7 測定点 No.3 の周波数分布(左:実測 右:解析)

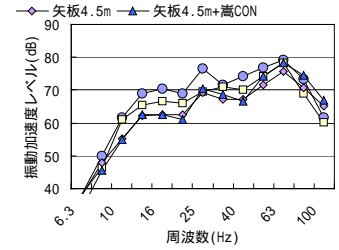
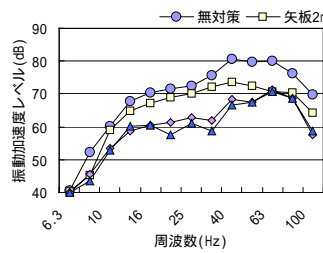


図8 測定点 No.4 の周波数分布(左:実測 右:解析)

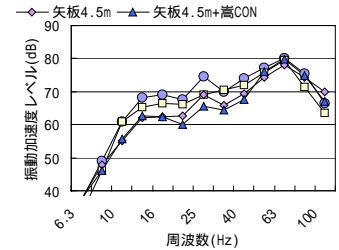
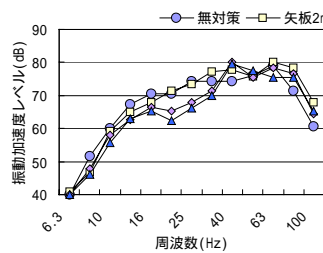


図9 測定点 No.5 の周波数分布(左:実測 右:解析)

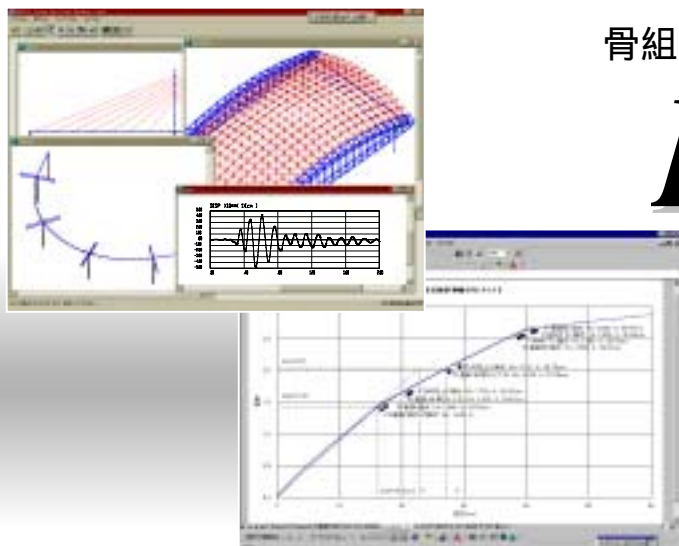
参考文献

- 1) 植野,三井,原,早川  
鋼矢板防振壁による振動遮断効果の確認実験  
土木学会第54回年次学術講演会(1999.9)I-B121
- 2) 道路橋示方書 耐震設計編
- 3) SuperFLUSH/3D 使用説明書 (株)構造計画研究所
- 4) 西村,庄司,原,植野,早川  
地中防振壁による列車振動対策に関するシミュレーション, 第35回地盤工学研究発表会(2000.6)



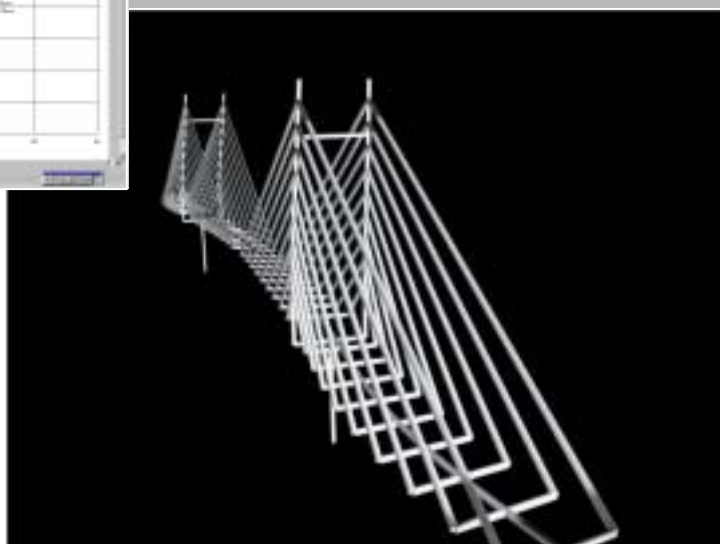
骨組構造物の汎用非線形解析プログラム

# RESP-T for Windows



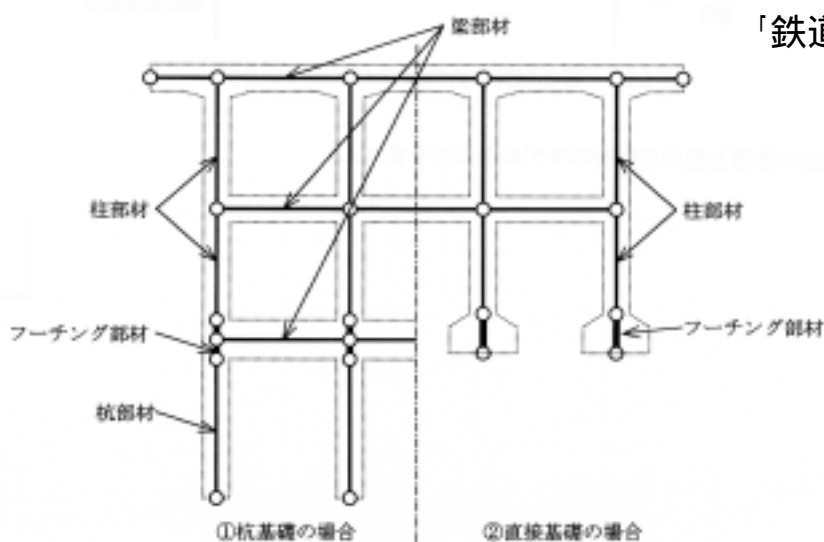
非線形問題、動的問題を  
高解析機能でカバー！

3次元任意形状骨組モデル対応  
静的 / 動的 / 固有値 / 座屈固有値 解析  
弾塑性 / 幾何学的非線形  
各種の免震制振機構にも対応



「鉄道構造物等設計標準・同解説  
耐震設計編」に準拠！

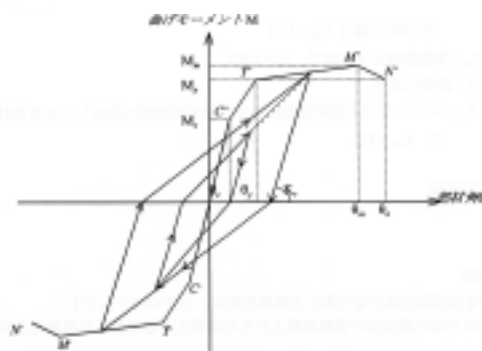
Windows対応入出力インターフェース  
静的非線形解析  
所要降伏震度スペクトル  
時刻歴非線形解析  
部材の損傷レベルによる耐震  
性能チェック  
テトラリニア対応



鉄道構造物等の耐震性能照査プログラム

# ASCARS

Assessment Program for Seismic Capacity of Railway Structure



ASCARS は(財)鉄道総合技術研究所と(株)構造計画研究所の協同開発商品です。



# 非線形有限要素法によるプレストレスト・コンクリート梁の解析

## 外ケーブルを用いたプレキャスト・セグメント梁の場合

川上 誠<sup>1)</sup>・伊藤忠彦<sup>2)</sup>

- 1) 株式会社構造計画研究所 解析技術本部 建築構造グループ
- 2) 西松建設株式会社 技術研究所

### 1. はじめに

コンクリート橋の施工合理化、工期短縮、品質向上、メンテナンス容易化などを図るため、コンクリート桁をプレキャスト・セグメント化し、これを外ケーブルで圧着する構法が注目、促進されている。本報告は、このプレキャスト・セグメントPC（プレストレスト・コンクリート）梁に関する実験<sup>1)</sup>において観察された破壊に至るまでの挙動を、有限要素法解析を用いて検証したものである。なお内ケーブルの場合を検討した既報<sup>2)</sup>も参照されたい。

### 2. 実験概要<sup>1)</sup>

実験供試体は図1に示すような形状と断面諸元を持つ6個のプレキャストセグメントを外ケーブルで一体化させた単純梁である。セグメントの接合面は接合キーを設けないドライジョイントで、摩擦のみによりせん断力が伝達される。コンクリート打ち込みから4週間後に合計4本の外ケーブルでプレストレスを導入し、セグメントを圧着した。外ケーブルは荷重載荷位置に設置したデビエータ（図1の2カ所のリブ）を貫通させて曲げ上げ配置した。プレストレス導入直後に載荷を開始し、下方向に交番繰り返し載荷した。表1に材料物性を示す。

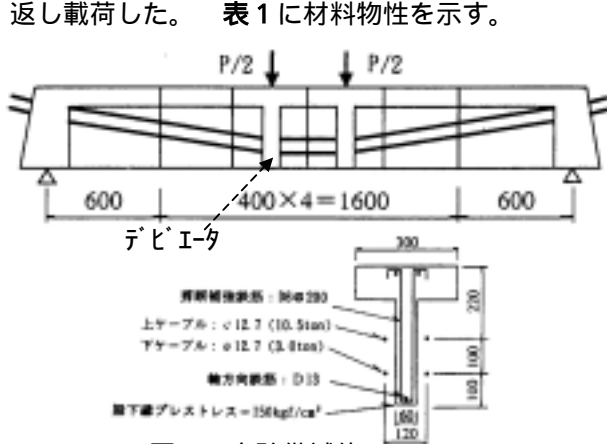


図1 実験供試体

表1 材料物性 (kgf/cm<sup>2</sup>)

コンクリート			ケーブル		
圧縮強度	引張強度	弾性率	降伏強度	引張強度	弾性率
728	44.8	$3.3 \times 10^{-5}$	17700	19400	$2.9 \times 10^{-4}$

### 3. 解析モデル

解析にはADINAプログラム<sup>3)</sup>を適用した。図2に有限要素モデルを示す。対称性を考慮して梁全体の右半分のみを3個の有限要素ブロックとし、1要素当たり9節点で構成される2次元平面応力要素でモデル化した。セグメントの接合面には接触計算機能を設定して、接触両面の圧縮時には法線方向力と摩擦力（摩擦係数=0.3）とを伝達し、引張時には剥離して力を伝達しない挙動を可能にした。ケーブルは軸力のみを伝達するトラス要素でモデル化し、プレストレス相当の初期応力を与えた。このトラス要素と2次元要素は、梁端位置Aとデビエータ位置Bとにおいて各々独立した節点を持ち、両節点は、Aでは全方向同一変位（定着）条件、Bでは鉛直変位同一（水平方向は滑り）条件とした。軸方向鉄筋と剪断補強鉄筋はトラス要素でモデル化し、2次元要素と節点を共有（完全付着）させた。コンクリート材料モデルには、図3(a),(b)に示すような応力-歪み関係と応力破壊曲面を考慮した。ケーブルと鉄筋は応力-歪み関係がバイリニア型の弾塑性モデルとした。荷重は下方向単調載荷とし、荷重増分法による静的解析を適用した。

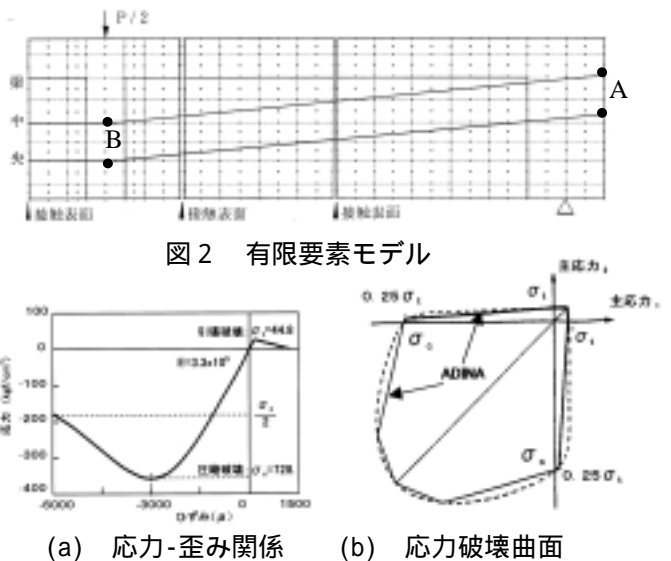


図2 有限要素モデル

(a) 応力-歪み関係 (b) 応力破壊曲面

図3 コンクリート材料モデル

#### 4. 解析結果と考察

図4(a),(b)に最大荷重時の変形を、解析と実験とを比較して示す。梁中央のセグメント接合面に大きなギャップ(最大荷重時で13mm)が発生し、梁全体はV字形状を構成する。

図5に全荷重とスパン中央の鉛直変位との関係を、解析と実験とを比較して示す。荷重8 ton 付近においてプレストレスによる梁下縁の圧縮応力が曲げ引張り応力により解除され、セグメント間にギャップが発生し始める。この荷重以後は剛性が低下し、ほぼ線形的な荷重変形特性を示す。この状態では「梁中央の接触圧縮力とケーブル張力から構成される梁中央モーメント」と「負荷荷重 P/2 と支持反力とから構成される回転力」とが釣り合いを形成している。

図6(a),(b)にひび割れと圧壊の分布を、解析と実験とを比較して示す。図6(a)の//印または\*印はその位置において//方向のひび割れまたは圧壊が発生していることを示す。破壊はまず梁中央ウェブ上部の水平方向ひび割れで始まり、隣接フランジ部とデピエータ上部の隣接ウェブ部にひび割れが拡大し、梁中央上縁での圧壊で終局荷重に達する。

図7(a)に全荷重と梁中央上縁のコンクリート歪との関係、図7(b)に全荷重と下側ケーブル歪(ケーブル内一様)との関係を示す。

上記で考察したように、解析から得られた変形パターン、荷重-変形関係、ひび割れ・圧壊分布と破壊過程、荷重-歪み関係は、実験で観察された挙動とよく近似するものであった。

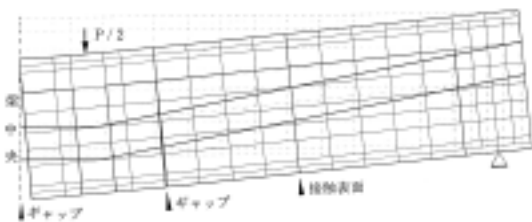


図4(a) 最大変形(解析: 拡大変形10倍)

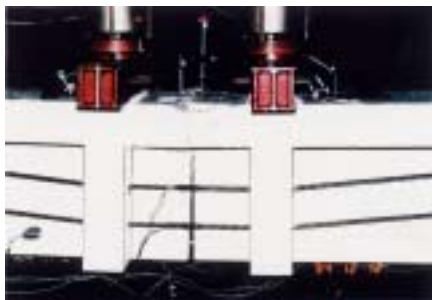


図4(b) 最大変形(実験)

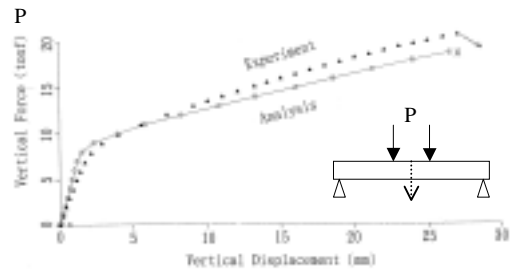


図5 荷重と鉛直変位の関係

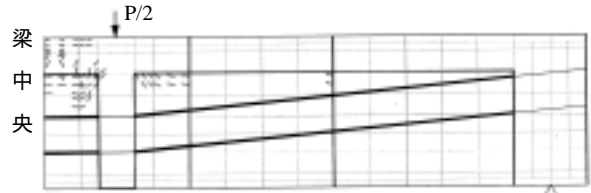


図6(a) ひび割れ/圧壊分布(解析)

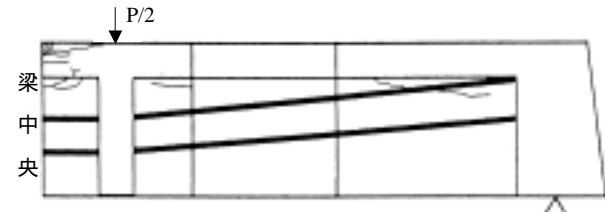
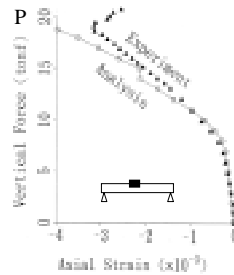
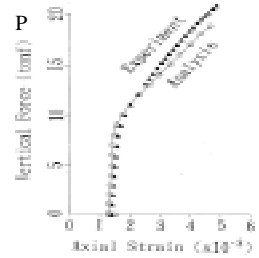


図6(b) ひび割れ/圧壊分布(実験)



(a) 上縁コンクリート歪み



(b) 下ケーブル歪み

図7 荷重と歪みの関係

#### 5. まとめ

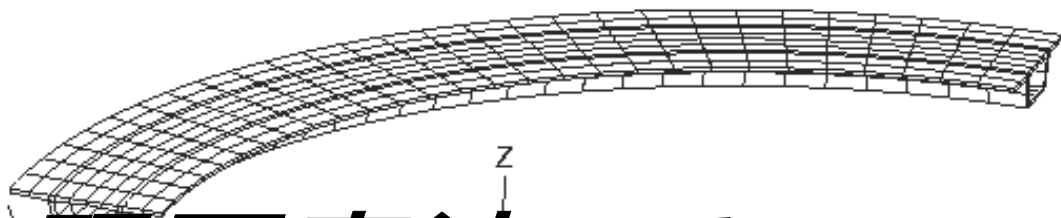
外ケーブルを用いたプレキャスト・セグメントPC梁の終局荷重に至るまでの挙動を、材料非線形と幾何学的非線形を適用した有限要素法により解析し、実験で観察された力学的挙動を検証できた。

#### 参考文献

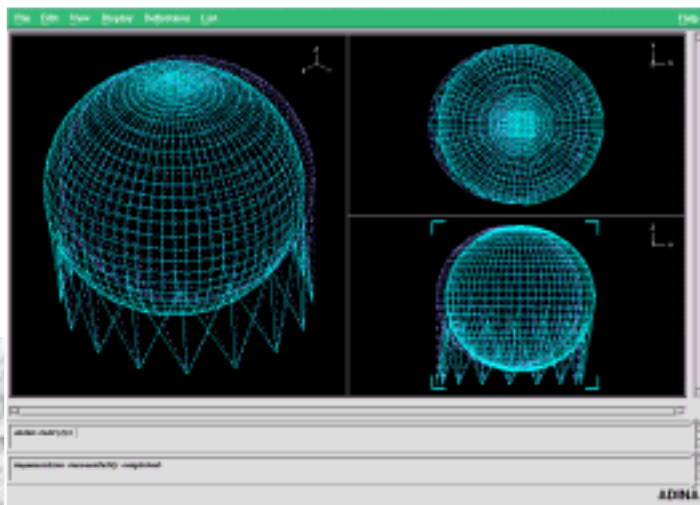
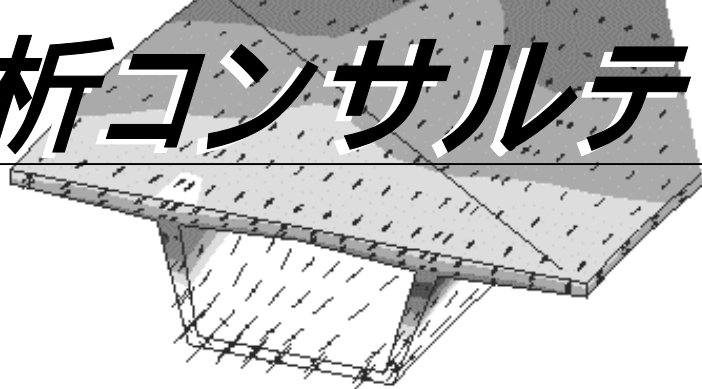
- 1) 伊藤, 山口, 池田, 「プレキャストセグメントはりの曲げせん断挙動」, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.2, PP.967-972, 1994.
- 2) 川上, 伊藤, 「プレキャストセグメントPC梁の有限要素解析」, 日本建築学会1997年度大会梗概集, C-2, PP.911-912.
- 3) ADINA R&D, Inc., 「ADINA Theory and Modeling Guide」, 1999.

# 有限要素法による

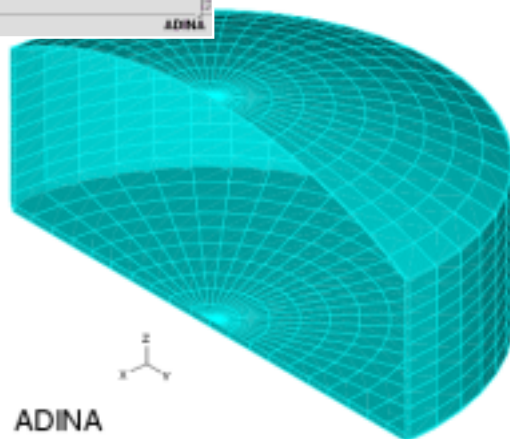
# 解析コンサルティング



STRESS  
RST CALC  
TIME 1.000



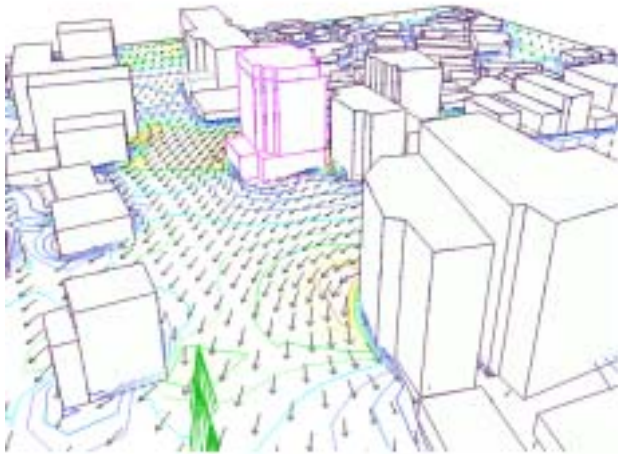
非線形有限要素法プログラム  
ADINAを用いた解析コンサルティングがご好評をいただいております。構造・地盤から熱流体まで、様々な問題を解決してきたノウハウにご期待ください。



ADINAはADINA R&D, Inc. (米国)の登録商標です。

# 街を流れる風を *Wind-design* for Windows

知りたいなら...



地図情報(bmpファイル)の読み込み可能

2D or 3Dによる確認表示

自動メッシュ分割機能

GUI操作によるメッシュ範囲分割や追加・

削除が可能

簡単な計算条件設定および出力指定

風環境評価機能による客観的評価が可能

# 室内の気流温熱環境を *AC-design* for Windows

知りたいなら...

AutoCADをカスタマイズした容易な形状

定義機能

自動メッシュ分割機能

高性能熱流体ソルバの搭載。流れと熱の

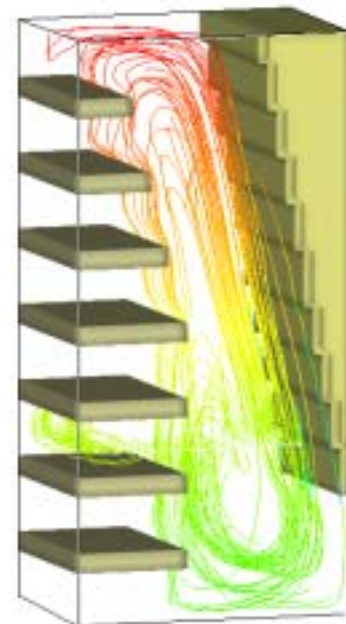
連成計算や濃度拡散解析が可能

豊富な可視化機能。ベクトル・コンタ

等値面・マーカ粒子追跡・

ストリームライン表示・

アニメーション表示



水、空気、ガス拡散、地下浸透流... 流体解析コンサルもお任せ下さい

# 科学・工学のための計算機支援問題解決環境 CAPSE の構築

## Development of A Problem Solving Environment for Science and Engineering

藤井義巳<sup>1)</sup> 保志克則<sup>2)</sup> 長嶋利夫<sup>3)</sup> 南 多善<sup>4)</sup>  
 Yoshimi FUJII Katsunori HOSHI Toshio NAGASHIMA Kazuyoshi MINAMI

- 1)株式会社構造計画研究所 システム開発本部 通信システム部
- 2)株式会社構造計画研究所 解析技術本部 環境評価グループ
- 3)株式会社三菱総合研究所 総合安全研究センター 原子力システム研究部
- 4)富士通株式会社 パッケージ事業部 計算科学研究センター

ABSTRACT. Problem Solving Environment (PSE) for science and engineering would be structured by four elements such as (a) a framework to support to utilize existing software (Integration Environment), (b) a system to automatically generate application code from information such as partial differential equation, domain, boundary condition (Program Generation Environment), (c) a system to support which existing software should be used and how to use them (Knowledge Base System) and (d) application program libraries for dedicated computational science and engineering field (Application Libraries). We developed a platform called CAPSE(Computer Aided Problem Solving Environment) to cover these four elements.

Especially, Integration Environment incorporated advanced functions such as distributed computing environment and Internetworking technology, and Application Libraries included tools for design optimization that are useful for engineers of industrial design to develop new products more effectively and creatively. This paper briefly describes the idea and architecture of CAPSE and also shows several examples that CAPSE solved some problems in science and engineering field.

### 1. 背景

数値シミュレーションは、理論と実験を補足する科学活動の一環であることが一般に認められるようになった。現状、計算科学者がシミュレーションを利用して通常行う問題解決作業は、以下のプロセスの一部あるいは全部を使って構成される(図 1-1 問題解決作業のプロセス参照)。

- (1) 考察している現象の数学モデルを構築する。
  - (2) 適切な物理的・幾何学的手法を選択する。
  - (3) 方程式と付随する条件を操作して、適切な解法を適用できるように問題を簡略化する。
  - (4) 解析的・近似的手法による解法を指定する。
  - (5) 適切な仕様記述言語及びプログラミング言語を用い、解法実行のためのプログラムを作成する(新規作成及び既存資源の拡張)。
  - (6) 試行問題及び試行データを作成する。
  - (7) プログラムに試行データを適用する。
  - (8) 結果を検証する。
  - (9) 結果と性能を別の解法によるものと比較する。
  - (10) 出力データの収集及び加工を行う。
  - (11) 実験手順を記録する。
  - (12) 結果を学会等に報告する。
- 上記の項目を考察すると、どのような手順の組み合わせが適切なのか考え易くなる。この問題解決作業のプロセスは、階層的な構造を持っており、項目のほとんどが、問題解決作業の出発点となり得る。すべての手順を使用する必要はなく、いくつかを繰り返して使用すればよく、また、使用順序も特に定まっていない。

返して使用すればよく、また、使用順序も特に定まっていない。

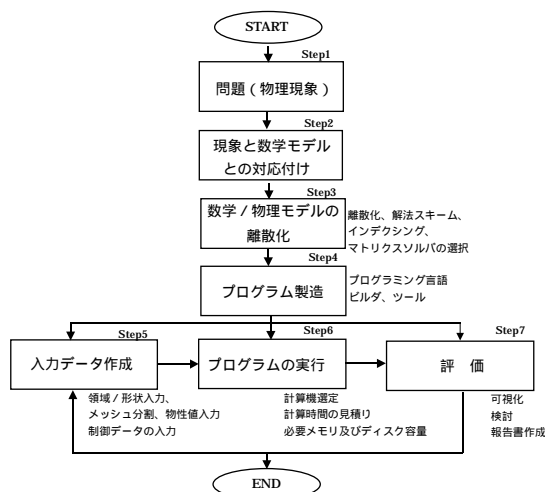


図 1-1 問題解決作業のプロセス

問題解決に際して、研究者・技術者は、リファレンスやデータベースなどの知識ベースを参照したり、同僚に相談したりして既存の資源を利用しながら上述のプロセスを実行する。手順のいくつかは、パターン認識など通常人間が行う問題解決作業に既に適用されているので、この作業を支援するツールがあれば便利である。



この問題解決プロセスを最も良くかつ単純に表現したソフトウェアプロダクトに、ツールキットがある。ツールキットは、フロントエンドにあるユーザインタフェースを使って、バックエンドにあるライブラリを呼び出す。システムは、コンポーネント(ソフトウェア部品)を付け加えるにしたがって、様々な問題解決プロセスで利用できる環境に近づいていく。そのため、科学・工学分野での問題解決のための支援環境は、記号処理ツール、代数計算ツール、数値計算ツール、AI/エキスパート・システム、計算幾何学等のコンポーネントに基礎を置いて構築される場合が多い。

以上、問題解決作業のプロセス、知識の適用方法、ツールキットの構成等を踏まえ、「科学・工学分野での問題解決のためのコンピュータ支援環境が如何にあるべきか」を定義し、そのシステム要件及びアーキテクチャを決め、実装し続けていく研究・学問分野は、「科学・工学のための問題解決環境 PSE: Problem Solving Environment」として良く知られるようになって来ている。現状での科学・工学のための PSE の理想形として考えられている利用形態は、「研究者や技術者が自分たちの言葉/用語で問題やその問題の着眼点を PSE に伝達すると、問題が解かれ、彼らの言葉/用語で解答が提示される」というものである。この理想形が実現されれば、科学・工学分野での先端技術開発や材料・製品設計/開発に圧倒的な生産力をもたらすであろうことは論を待たない。

以上の観点から、本稿では、上述の理想形を実現するための第 1 段階として、「3 . 開発概要」に示すような PSE のシステム要件/アーキテクチャを定義し、そのプラットフォームを開発し、かつ「4 . 実験例」に示すような性能評価を実施した。なお、本稿で開発したプラットフォームは、米国パデュー大学計算機科学科ジョン・ライス教授、エリアス・ヒュースティス教授等により提唱されている「計算科学のための問題解決環境 ( PSE: Problem-Solving Environments for Computational Science )」<sup>[1][2]</sup>をベースに構成されたものである。

## 2 . 目的

統合的な PSE を構成する部分システムとしては、我が国ではこれまでに、

- ・ 偏微分方程式問題のプログラム生成支援環境  
NCAS (長岡技術科学大学)
- ・ PSILAB ((株)日立超 LSI システムズ)
- ・ 既存プログラムの統合化活用を目的とした PSE プラットフォームのプロトタイプ  
V-Lab ((株)構造計画研究所他)

などの研究・開発が行われているが、まだ試作レベルの段階である。

米国では、偏微分方程式問題分野向け PSE : PDE-LAB(パデュー大学) 環境問題向け PSE : WISE (NASA) などの実用化に近いシステムが開発され

ているが、図 1-1 に示す科学・工学問題の解決プロセスを統合的に支援する実用的な PSE は未だ開発されていない。

本開発は、将来に渡る各種の科学・工学問題に適応可能な汎用的な PSE を実現することを目的とする。すなわち、本開発は、研究者・技術者に対し、容易にかつ効果的に個々人の科学・工学問題を解くためのワークベンチを提供することを目指すものであり、米国に比して大きく遅れている我が国の PSE 研究開発を前進させるものである。これにより、今後ますます重要とされる我が国の計算機シミュレーション分野の発展に寄与すると同時に、高度な技術を駆使する産業の発展と国際競争力強化に貢献することを目指すものである。

## 3 . 開発概要

科学技術計算分野の問題解決を支援するプラットフォームのシステム要件を、図 1-1 の問題解決プロセスを基礎として、以下に示すように定義した(図 3-1 参照)。

- (1)問題定義
- (2)ツールジェネレータ
- (3)インテグレータ
- (4)ライブラリ(最適化エンジンを含む)
- (5)知識ベース
- (6)ユーザインタフェース

「問題定義」は、対象問題を物理現象とともにシステムに知らせることである。問題を計算対象領域、支配方程式及び境界条件として定義する方法や実現象を実験装置やイメージ図等で表現し認識させる方法等が考えられる。

「ツールジェネレータ」は、対象問題を解くツールが既存ツールとして存在しない場合に利用する。物理現象を表す保存則を偏微分方程式系で入力し、自動的にプログラムソースを生成する方法と既存のモジュールを再利用するためのワークベンチを提供し、新規モジュールと組み合わせて新たな機能を有するツールを半自動的に生成する方法等が考えられる。

「インテグレータ」は、複数の既存ソフトウェアを組み合わせて、科学技術計算分野のある 1 つの問題解決システムをコンピュータ上に実現するためのワークベンチである。既存の「領域定義及びメッシュ生成プログラム」、「求解プログラム」、「可視化プログラム」の他、外部仕様の明確な市販パッケージや「ツールジェネレータ」で生成したプログラムを組み合わせて利用するための仕組みである。

「ライブラリ」は、独自開発、市販を含む既存ツールであり、プログラムの貯蔵庫である。「ツールジェネレータ」で生成されたプログラムもコンポーネントとしてこの貯蔵庫に格納される。また、本「ライブラリ」には、最適化エンジンを搭載し、パラメータスタディや感度解析、設計変数及び特性値の最適化、最適解の探索を支援することにより、技術者・設計

設計者の材料・製品開発を大幅に効率化することができる。

「知識ベース」は、対象問題が与えられたときに、「その問題を解釈し」、「その問題を解くための最適な計算手法または既存ツールを推測/助言し」、「既存ツールに対しては、最適な入力データを予測/助言し」、「計算結果を評価する」等の機能であり、その役割は多岐に渡る。ただし、AI/エキスパートシステムを含む知識ベースは、数値シミュレーション分野への適用という意味では、最も立ち後れた技術であり、今後の技術開発と運用ノウハウの蓄積が待たれる研究分野である。

「ユーザインタフェース」は、インテグレータやツールジェネレータ、知識ベース等を統一的に利用するための GUI である。また、問題定義時にシステムに問題を認識させるための音声認識や画像読み取りと言ったコンピュータとの新しい I/F の適用も考えられる。

上述のように定義したプラットフォームは、「ライブラリ」をさらに充実することにより、多くの問題分野に適用可能なものとなる。また、「インテグレータ」、「知識ベース」は、適用可能なライブラリが増えれば増えるほどその効力を発揮することになる。本プラットフォームは、より汎用的ないわゆる「計算科学のための問題解決環境(PSE)」への発展の可能性を持つものである。

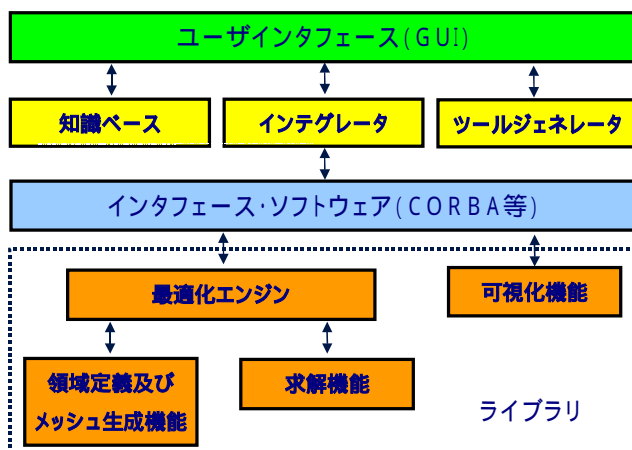


図 3-1 システム構成

本稿では、上述のシステム構成を踏まえ、システム要件と対応するように、下表に示す機能を開発した。以下では、表の開発機能に示す5つサブプログラムの概要について述べる。

表 3-1 PSE のシステム要件と開発機能

システム要件	開発機能
(1)問題定義	統合化環境機能 プログラム自動生成機能
(2)ツールジェネレータ	プログラム自動生成機能
(3)インテグレータ	統合化環境機能
(4)ライブラリ	最適化問題対応機能 求解及び求解支援機能
(5)知識ベース	利用支援機能
(6)ユーザインタフェース	統合化環境機能

(1) 統合化環境機能

統合化環境機能は、ネットワーク上に散在する科学・工学分野のアプリケーションプログラムを単一の操作環境に統合化し、それらのプログラムを利用して行う一連のシミュレーション作業の流れを一元的に管理あるいはその作業プロセスを制御する機能である<sup>[3]</sup>。この機能は、「分散コンポーネント管理機能」及び「分散オブジェクト管理機能」により達成される。「分散コンポーネント管理機能」及び「分散オブジェクト管理機能」は、それぞれネットワーク上に散在するアプリケーションプログラム及びデータファイルを分散コンポーネント及び分散オブジェクトとして抽象化し、統合化環境機能上に取り込む。両機能により、利用者は、ネットワーク上のアプリケーションプログラム及びデータファイルの所在地を意識することなく、統合化環境機能の統一された GUI を利用して問題解決システムを構築し、利用することができる。

また、統合化環境機能を含む以下に示す各種サブシステム(CAPSE ソフトウェア群)は、Web サーバを介してインターネットに接続されており、インターネットに接続された全ての Web ブラウザからログオンしてその機能を利用することができる。すなわち、利用者は、プリプロセッサ、ソルバ、ポストプロセッサ等からなる科学技術計算のためのアプリケーションプログラムを、LAN 及びインターネット上から統一的に利用し、自らの問題を解くことができる(図 3-2 参照)。

さらに本機能は、計算プロセスの自動実行、繰り返し実行機能等からなる「プロセス実行制御機能」、サブルーチンレベルでの統合化及びビジュアルプログラミングを支援する「メタモジュール統合化機能」、プログラムへの入力データを画面から入力するための支援機能やプログラムの計算結果を可視化するための支援機能、プログラム間のファイル情報を変換するためのファイル変換機能からなる「分散コンポーネント開発支援機能」を有し、利用者のコンピュータ・シミュレーションによる問題解決を支援する。

本機能は、図 1-1 に示す科学・工学問題の問題解決プロセスのすべての Step(プログラムの作成及び

運用両フェイズ)を支援するワークベンチである。

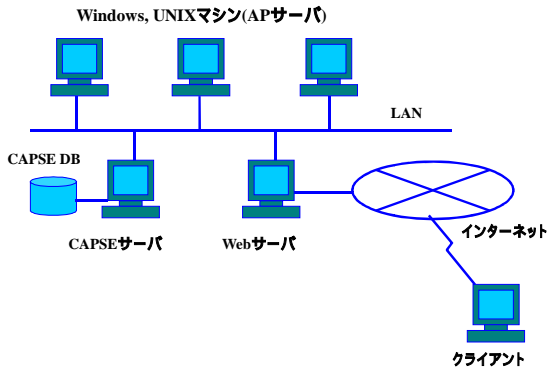


図 3-2 統合化環境機能の動作環境

## (2) プログラム自動生成機能

本機能は、偏微分方程式や計算領域、境界条件などを入力し、数値計算プログラムを自動生成する機能である。本機能は、図 3-3 に示すように既存の偏微分方程式問題のプログラム生成支援環境である NCAS<sup>[4]</sup>(長岡技術科学大学)をベースに開発した。本開発では、この NCAS の操作性向上を目的に、計算モデル、支配方程式、計算領域及びメッシュ情報からなる問題定義情報を GUI を用いて定義し、容易にこれら問題定義情報を NCAS に供給するための以下の機能を開発した。

### モデル化支援機能

次元数、時刻情報(  $t$  やサイクル数)、未知数等からなる計算モデルを定義する機能。

### 数式入力支援機能

支配方程式を構成する未知変数名、偏微分記号、算術記号等を数式パレットから選択して入力する機能。

### ライブラリ連携機能

既存のプリ・ポストプロセッサと連携し、複雑な計算領域及びメッシュを NCAS に供給し、可視化するための支援機能。

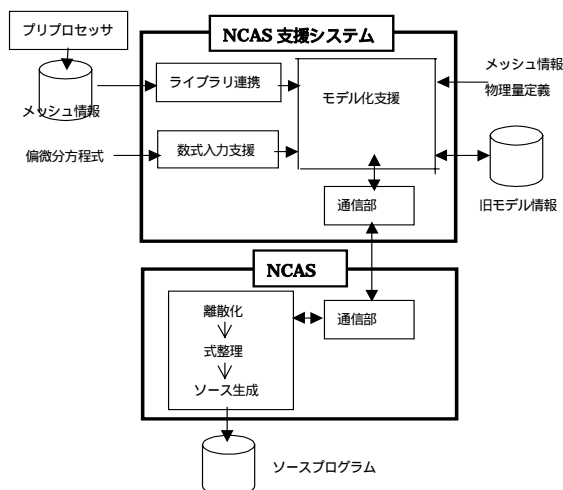


図 3-3 プログラム自動生成機能

本機能で自動生成される個々のプログラムは、統合化環境機能上に分散コンポーネントの1つとして統合化され、数値計算による問題解決のための利用に供せられる。

本機能は、図 1-1 に示す科学・工学問題の問題解決プロセスのうち、Step1~4 のプログラム作成フェイズを支援するワークベンチである。本機能は、プログラミングすることなしに、研究者・技術者に、彼ら個々の持つ問題を解決するための数値計算プログラムを提供する。したがって、研究者・技術者は、情報技術の習得及び運用するための時間を削減することができ、技術開発や製品設計等の問題解決のために優先的に自らの時間を割くことができる。

## (3) 最適化問題対応機能

本機能は、図 3-4 に示すプログラム群により設計最適化問題<sup>[5],[6]</sup>を解決する。

通常、構造解析、伝熱解析、熱流動解析等の数値計算プログラムは、応力、変位、温度、流速といった物理量(従属変数)についてのみ結果を算出する。これに対し実際の設計プロセスでは、設計目標を満たすような設計変更を繰り返しながら、複数の物理量や形状等をコストを含め最適な値またはその値がある許容範囲内に入るよう模索する手順が用いられる。本機能では、設計者が複数のケーススタディを行うことなしに、最適な目標設計値を取得できるように上記プロセスを自動化する。これにより、数値計算による問題解決の生産性を飛躍的に向上することができる。

本開発では、以下に示す5つの機能を開発し、最適化問題に対応した。

### 最適化プロセス制御機能

最適化問題を定義するファイルを読み込み、以下のパラメータスタディ自動化機能、感度解析用簡易解析モデル生成機能、NLP や GA による最適解探索機能を制御する。さらに、形状最適化のための適応メッシュ生成機能を起動する。

### 最適解探索機能

数理的探索方法として、代表的な非線形計画法ソルバである SQP, AGL, QNM を有する。また確率的探索方法として GA を用いる。

### 感度解析用簡易解析モデル生成機能

L9, L27 直交表を用いた応答曲面近似式を生成する。作成された応答曲面を用いて、応答値及びその微分値が計算される。

### 適用メッシュ生成機能

既存の CAD データから 2 次元及び 3 次元形状定義データを生成する機能、及びこの形状定義データから有限要素メッシュデータを生成する機能。

### パラメータスタディ自動化機能



既存の求解プログラムに設計変数と入力データを与え、逐次求解プログラムを起動し、計算結果及びその中の特性値を抽出する。

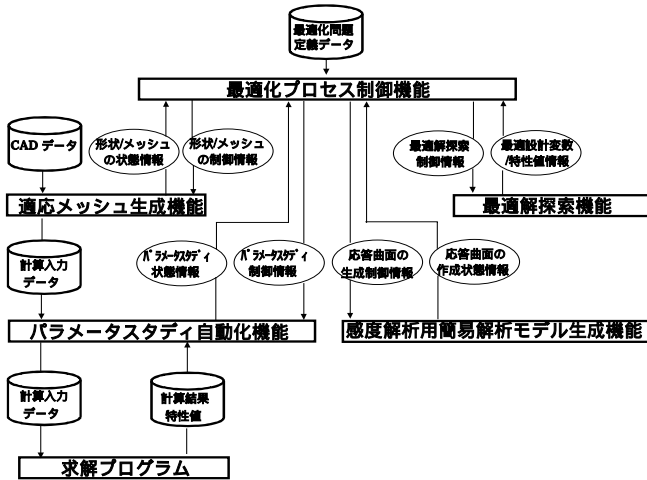


図 3-4 最適化問題対応機能

ここで、パラメータスタディ自動化機能から呼ばれる求解プログラムは、「(4)求解及び求解支援機能」で開発し、目的関数の評価に利用される。

本機能の実装により、図 1-1 に示す科学・工学問題の問題解決プロセスのうち、Step5~7のプログラム運用フェイズを強力に支援することができる。

#### (4) 求解及び求解支援機能

本機能では、「(1)統合化環境機能」上での問題解決に当たって必要とされる各種プログラム及び「(3)最適化問題対応機能」で目的関数を評価するために必要となる求解プログラムを開発した。以下に、本機能で開発されたプログラム群を示す。これらのプログラムは、すべて「(1)統合化環境機能」上に実装され、問題解決システムの構築に利用されるが、このうち、伝熱解析機能、熱流動解析機能、構造解析機能は、「(3)最適化問題対応機能」の求解プログラムとして利用される。

プリプロセス部

- ・差分メッシュ生成機能

ソルバ部

- ・乱流解析機能
- ・伝熱解析機能
- ・熱流動解析機能
- ・構造解析機能

ポストプロセス部

- ・乱流解析用可視化機能

上記のプログラムは、ある与えられた問題に対して、その解析領域や物体の形状、計算メッシュ、解析条件及び境界条件を定義し(プリプロセス部)、その問題を表す支配方程式を数値計算により解き(ソルバ部)、出力された結果を画面表示する(ポスト

プロセス部)という数値計算技術を利用して問題解決をするための想定プログラムである。したがって、この部分のプログラムが増えれば増えるほど本プラットフォーム(CAPSE)全体の問題解決能力が向上することになる。

本機能は、図 1-1 に示す科学・工学問題の問題解決プロセスのうち、Step5~7のプログラム運用フェイズを支援することになるが、ここで開発される機能に加えさらに多くの求解及び求解支援機能を追加/実装していくことが適用範囲の拡大という意味で重要となる。

#### (5) 利用支援機能

利用支援機能は、図 3-5 に示すように既存の Web ベースの質問応答システム(富士通株式会社)を利用して開発する。本機能は、作成された文書及びその目次を利用して文書を分割し、この分割された文書に対し有効なインデックスを割り当て、効率的な検索を共通の GUI で行うための検索エンジンである(知識ベース検索表示機能)。

本開発で作成された各種ドキュメント(外部設計書、取扱説明書等)を文書として登録し(知識ベース登録機能)、本検索エンジンを使用することにより、利用者は、CAPSE 全体の利用及び運用に関する情報を迅速かつ的確に得ることができる。したがって、本機能は、図 1-1 に示す科学・工学問題の問題解決プロセスのうち、Step1~7のプログラム作成及び運用フェイズを後方支援することになる。

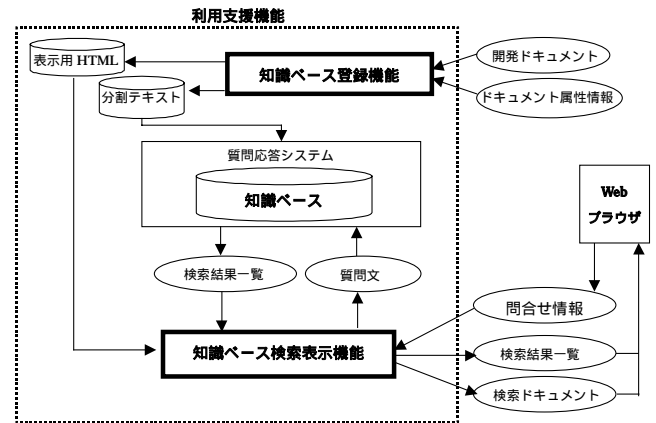


図 3-5 利用支援機能

## 4. 実験例

本節では、

- (1) 室内の気流・温熱環境解析システムの構築
  - (2) 電子機器の熱流動解析システムの構築
  - (3) 最適化問題対応機能の定常伝熱問題への適用
- の3つの実験例を取り上げ、「3. 開発概要」に示す各サブシステムがどのように科学・工学分野の実用的な問題に適用されているかについて具体的に述べる。

### (1) 室内の気流・温熱環境解析システムの構築

本実験では、統合化環境機能の分散オブジェクト管理機能及び分散コンポーネント管理機能を利用して、求解及び求解支援機能の差分メッシュ生成機能、乱流解析機能及び乱流解析用可視化機能を統合化環境機能上に実装し、室内の気流・温熱環境問題解決環境を構築する。

次に、上記環境を利用して図 4-1 に示す事務所内の気流・温熱環境を計算し、他の市販コードと比較する。

まずはじめに、図 4-2 に示す統合化環境機能の分散コンポーネント管理機能を利用して、求解及び求解支援機能の差分メッシュ生成機能、乱流解析機能及び乱流解析用可視化機能を分散コンポーネントとして登録する。ここでは、図に示すように、差分メッシュ生成機能、乱流解析機能及び乱流解析用可視化機能が、それぞれ【fdmesh\_room】、【kkesol】、【CapseDraw】という分散コンポーネント名で統合化環境機能上に登録されている様子が見られる。

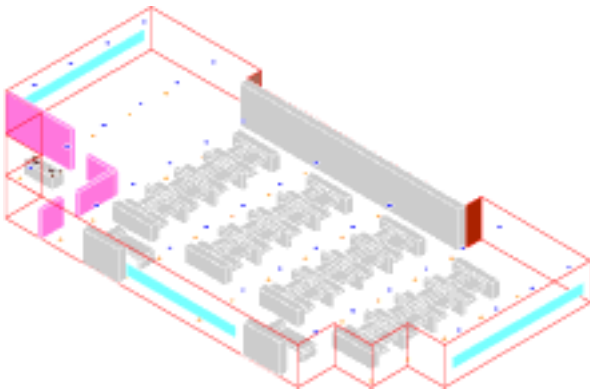


図 4-1 事務所執務室を想定した計算モデル



図 4-2 分散コンポーネント管理画面

次に、図 4-3 に示す統合化環境機能の分散オブジェクト管理機能を利用して、差分メッシュ生成機能

の入出力オブジェクトを分散オブジェクトとして登録する。ここでは、分散コンポーネントの登録と同様、差分メッシュ生成機能の入力オブジェクトである計算モデル(計算領域)情報及びメッシュ分割制御情報が、それぞれ【jitest01\_form】及び【jitest01\_mesh】という分散オブジェクト名で、差分メッシュ生成機能で算出されるメッシュ分割結果が【jitest01\_msh】という分散オブジェクト名で統合化環境機能上に登録されている様子が見られる。

さらに、乱流解析機能の入出力オブジェクト、及び乱流解析可視化機能の入力オブジェクトを分散オブジェクトとして登録する。

ここまでの作業により、統合化環境機能上にメッシュ分割～求解～可視化に至る室内の気流・温熱環境問題解決環境が構築されたことになる。

上述のようにして構築した室内の気流・温熱環境問題解決環境を利用して、図 4-1 に示す事務所執務室内の気流温熱環境を計算し可視化した(図 4-4,5 参照)。図 4-4、及び図 4-5 は、それぞれ執務室内の気流及び温度分布を可視化したものである。さらに、図 4-6 は、執務室中央での高さ方向温度分布を、本計算結果と予め他の市販コードで計算した結果を比較したものである。両者が同等の結果を算出していることがわかる。



図 4-3 分散オブジェクト管理画面

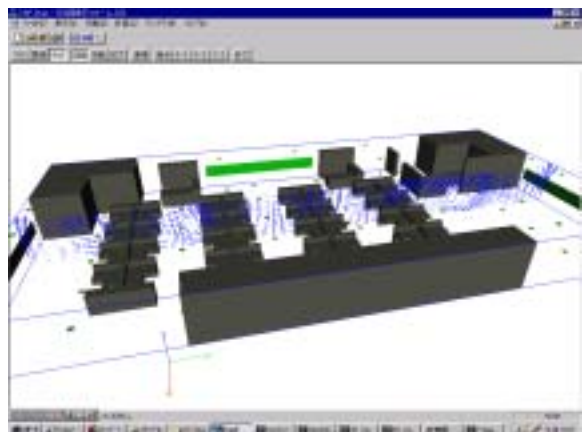


図 4-4 事務所執務室内の気流分布

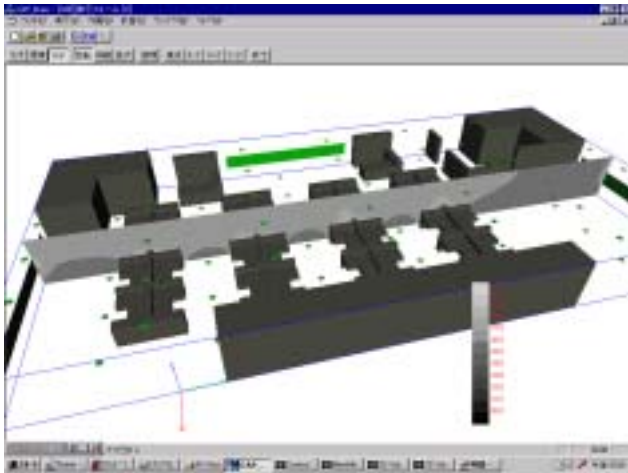


図 4-5 事務所執務室内の温度分布

ここで、一度統合化環境機能上に構築された問題解決環境は、いつでも、誰でも、インターネット上のどこからでもアクセスできる。したがって、本環境を利用して、他の室内の気流・温熱環境を世界中どこからでも計算することができることになる。

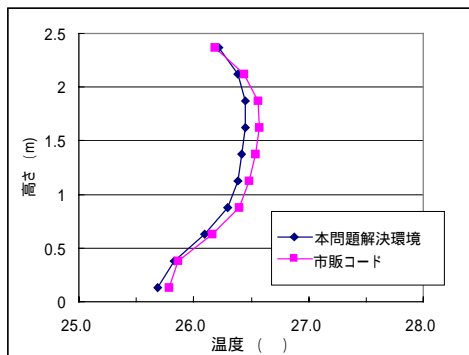


図 4-6 本問題解決環境と市販コードの比較

## (2) 電子機器の熱流動解析システムの構築

本実験では、図 4-7 に示す磁気テープ記憶装置の磁気ヘッド上部の流体及び磁気テープの運動を求解する数値計算プログラムをプログラム自動生成機能を利用して生成する。図に示すように、磁気テープが高速で走行するとテープと磁気ヘッド間の空気圧力の上昇により、磁気テープが浮上する。この磁気テープの浮上量の計算は、テープと磁気ヘッド間の空気層を表す流体の支配方程式と、この空気圧力を荷重とするテープの運動方程式から構成され、この 2 つの方程式を連成して解く必要がある。本実験では、まずはじめに、上記現象を解くためのプログラムをプログラム自動生成機能で生成し、生成したプログラムを「(1)室内の気流・温熱環境解析システムの構築」で実施した手順と同様の方法で統合化環境機能上に分散コンポーネントとして登録し、磁気ヘッド上部の流体及び磁気テープの運動を計算し、結果を検討する。

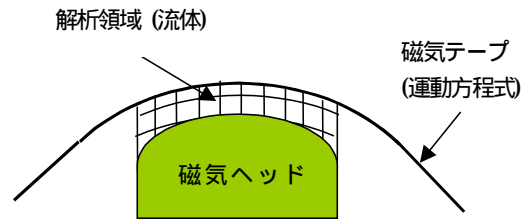


図 4-7 磁気テープ記憶装置

図 4-8 は、プログラム自動生成機能の数式入力画面の操作例である。本画面は、上から順に流体の質量保存則、x 方向運動量保存則(y 方向運動量保存則は省略)、エネルギー保存則を、さらに、磁気テープの長さ H に関する運動方程式を定義している。これらの支配方程式と計算領域及びその境界条件等が定義されることにより、問題が定義され、数値計算プログラムを自動生成するための準備が整うことになる。

図 4-9、10 は、それぞれプログラム自動生成機能が質量保存則及び x 方向の運動量保存則を離散化した過程をモニターしたものである。利用者は、本画面により、離散化の良否を確認しながらプログラムを生成することができる。

図 4-11 は、プログラム自動生成機能が生成したプログラムの一部である。プログラムは、C 言語で記述され、この問題の場合、約 300 ステップのプログラムが自動生成されている。

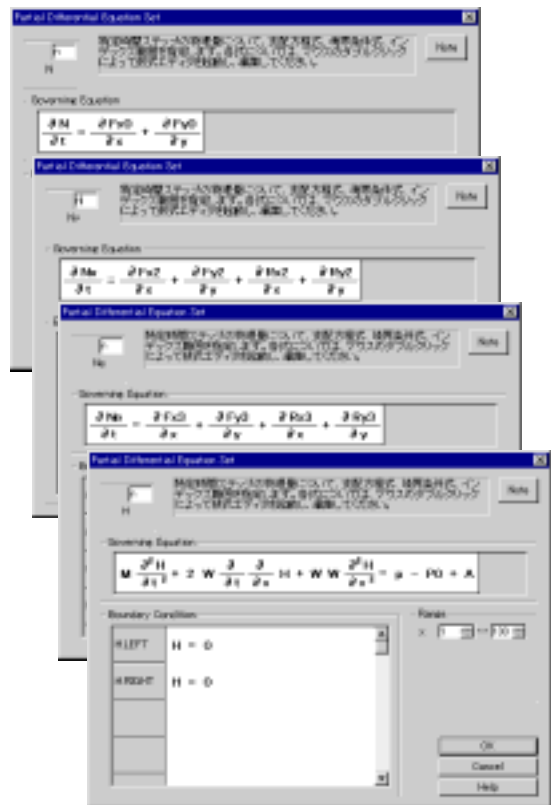


図 4-8 プログラム自動生成機能の数式入力画面

図 4-9 偏微分方程式の離散化(質量保存則)

図 4-10 偏微分方程式の離散化(運動量保存則)

```
double Ry3[IMAX+1][JMAX+1]/* Ry3 n 0 */
double H[KMAX+1]/* H n 0 */
/* ---- */
void main()
{
    init();
    for(n=1; n<=NMAX; n++) {
        /* 1 time step solver n --> n+1 */
        {
            SlvSym1390;
            SlvSym1680;
            SlvSym1920;
            SlvSym2160;
            SlvSym2450;
            SlvSym2710;
            SlvSym3010;
            SlvSym5560;
            SlvSym5780;
            SlvSym6080;
            SlvSym6380;
        }
        if(n%20==0) {
            // output();
        }
        subst();
    }
}
void SlvSym1390
{
    int i, j;
    for(i=2; i<=IMAX-1; i++) {
        for(j=2; j<=JMAX-1; j++) {
            txx[i][j] = a*vs
                *(1/2*(U[i+1][j]+U[i][j])-1/2*(U[i][j]+U[i-1][j]))/(dx)
                -b*vs
                *(1/2*(V[i][j+1]+V[i][j])-1/2*(V[i][j]+V[i][j-1]))/(dy);
        }
    }
}
}
```

図 4-11 生成したプログラム

図 4-12 は、プログラム自動生成機能が生成したプログラムを実行した結果を可視化したものである。流体の流速は、外側で最大(テープの走行速度と同じ流速)となり、内側へ向かうにしたがい、徐々に小さ

くなり磁気ヘッド表面でゼロとなる。また、本計算では、流体の厚み(すなわち、テープの移動)も良好な結果を示しており、ここで生成した数値計算プログラムが良好な解を算出していることを確認した。

ここで、本稿では、結果の妥当性と合わせて、作業効率/生産性を評価するために、本問題を解くのに要した時間をプログラムの生成から結果の可視化までと定義し、その作業時間を計測している。プログラム自動生成機能と統合化環境機能を合わせて利用した場合の上記作業時間は、約3日である。通常科学技術計算用プログラム開発の生産性を1000ステップ/20日と考えると、300ステップのプログラム作成に要する作業時間は、6日、さらに、計算の実行に要する作業時間は、1~2日必要である。したがって、本計算機支援問題解決環境CAPSEを利用した場合と通常の作業方法で本問題を解いた場合を比較すると、生産性が約2.5倍向上していることがわかる。さらに、プログラムの作成者が、プログラミング言語やOSの知識が不足している場合、この差は、さらに歴然としてくるのが容易に想像できる。

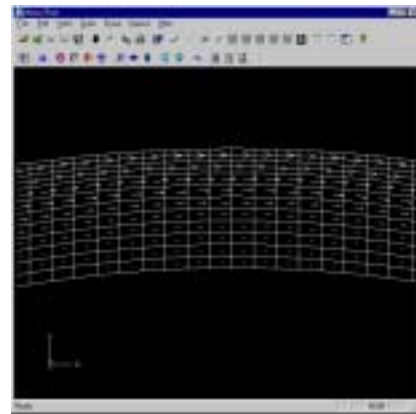


図 4-12 流体部分の速度ベクトル

(3) 最適化問題対応機能の定常伝熱問題への適用

本実験では、工学的な問題への適用例として図4-13に示すような発熱体を含む容器の定常伝熱問題を設定し、最適化問題対応機能を用いて表面の温度分布を評価した。ここでの解析では、表面の対流熱伝達率と輻射熱伝達率を設計変数として、表面温度を目的関数(あるいは特性値)として選んだ。この問題は、容器の物性値(熱伝導率)や輻射熱伝達係数の非線形性を考慮したとしても比較的単純な計算式を立てて、反復計算で容易に解くことができるが、ここではあえて外部プロセスとしてFEMによる伝熱解析機能を起動して、表面温度を算出することにした。表面の対流熱伝達率と輻射熱伝達率を設計変数として表面温度についての応答曲面を実験計画法により算出し、特性値及びその設計変数による微分値を直接法による結果と比較し、結果を表4-1に示した。実験計画法による結果は良好である。



ここで、実験計画法は、L27 直交表を用いて応答曲面近似式を生成している。表 4-1 のパラメータスタディは、5 ケースの直接計算の解と応答曲面近似式にケース毎の対流熱伝達率及び輻射熱伝達率を代入して得られた結果を比較している。感度解析では、設計変数である対流熱伝達率及び輻射熱伝達率がそれぞれ3.6と0.9の点での感度を数値微分と応答曲面近似式の解析的微分値を比較している。以上のように、最適化問題対応機能を使用することにより、数値計算プログラムを用いたパラメータスタディや感度解析を論理的に最少なケース数で行うことができると同時に、最適解の探索と設計変数の特定を従来の煩雑なパラメータスタディを実施することなく効率的に行うことができる。

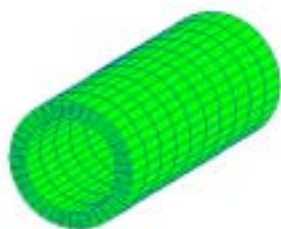


図 4-13 円筒形 FEM モデル

表 4-1 実験計画法を用いた解析結果  
(1)パラメータスタディ

ケース No.	対流熱伝達率 h(kcal/m <sup>2</sup> h )	輻射熱伝達率	外表面温度 T	
			直接法	実験計画法
1	3.6	0.9	131	129
2	3.6	0.1	252	238
3	1.8	0.9	143	140
4	7.2	0.5	131	131
5	10.0	0.2	131	131

(2)(h, ε)=(3.6,0.9)のときの感度解析

感度	直接法	実験計画法
$\partial T / \partial h$	-6.12	-6.13
$\partial T / \partial \varepsilon$	-55.6	-56.0

## 5 . まとめ

以上、本稿では、科学・工学のための問題解決環境を「問題定義」、「ツールジェネレータ」、「インテグレータ」、「ライブラリ(最適化エンジンを含む)」、「知識ベース」、「ユーザインタフェース」の集積と位置づけ、その定義に基づきプラットフォームを開発し、その有効性を実証した。

「統合化環境機能」により、利用者は世界中どこからでも本環境にログインして問題解決作業を行うことができる。「プログラム自動生成機能」は、研究者・技術者のプログラム作成の労力から解放し、彼ら本来の研究開発に邁進することを可能にした。「最適化

問題対応機能」は、最適解の探索を自動化することにより、より創造的かつ効率的な新製品開発を可能にする環境を提供している。

このように、CAPSE の開発により、最先端の研究者・技術者にとって有効な種々の機能を実現することとなったが、PSE の理想形である

「研究者や技術者が自分たちの言葉 / 用語で問題やその問題の着眼点を PSE に伝達すると、問題が解かれ、彼らの言葉 / 用語で解答が提示される」仕掛け(システム)に近づいていくためには、まだまだ克服しなければならない課題が山積しているのは明らかである。特に、問題定義から解へ直結させるための技法、途中を隠蔽するためにどんな要素技術が必要で、如何に実装していくか、さらに解の信頼性を如何に保証するか、これらのことが今後の大きな課題となるが、上述の要件個々のブラッシュアップと新たな要件を追加しながら理想形に近づけていくことが、科学・工学のための真の PSE を実現させるために重要となる。

## 6 . 参加企業及び機関

- ・ 株式会社構造計画研究所
  - ・ 株式会社三菱総合研究所
  - ・ 富士通株式会社
  - ・ 株式会社関西新技術研究所
  - ・ パデュー大学
  - ・ 金沢大学
  - ・ 宇都宮大学
  - ・ 静岡大学
- 「計算機支援問題解決環境 CAPSE の構築」

## 参考文献

- 1) Efstratios Gallopoulos, Elias Houstis, John R. Rice:Problem-Solving Environments for Computational Science, IEEE Computational Science & Engineering , 1994
- 2) Shahani Markus, Sanjiva Weerawarana, Elias N. Houstis, John R. Rice:Scientific Computing via the World Wide Web:The Net //ELLPACK PSE Server,CSD-TR 97-022,March 1997
- 3) R.オッティ, P.パトリック, M.ロイ:分散オブジェクト指向 CORBA 分散プログラミングから大規模分散システム構築まで,プレントイスホール出版,1997
- 4) 川田, boonmee, 藤田 他:ホワイトボックス型 PSE システム “NCAS” ,第 1 回問題解決環境ワークショップ論文集, 1998
- 5) ASNOP 研究会編:非線形最適化プログラミング,日刊工業新聞社, 1991
- 6) 古田, 杉本: 遺伝的アルゴリズムの構造問題への応用,森北出版, 1997

# 解析雑誌 Vol.1 読者アンケートのお願い

「解析雑誌」創刊号はいかがでしたでしょうか？  
 とりあえずの形にしてお届けしましたが、本誌はまだ生まれたての赤ん坊です。今後継続刊行していくにあたっては、読者の皆様からのご意見・ご要望をいただき、それらに応じて軌道修正していく必要があると考えております。今後の本誌が皆様にとって有益なものとなりますよう、是非とも本ページのフォームにご記入の上、下記番号まで FAX にてお送

りください。トピックス「解析ホームページはこちら」でご紹介した e メールアドレスに同内容をお送りいただいても結構です。

是非ともご協力をお願いします。

尚、アンケート以外のお問い合わせは、これらの FAX や eメールのほか電話（右ページに番号記載）でも承ります。

お名前			
会社名			
電話番号		FAX 番号	
Eメール			

本誌の内容について全般的な感想をお聞かせください	業務上参考になった あまり面白くなかった そのほか：	業務とは直結しないが興味深かった 主旨が理解できない
特に興味深かった記事・報文があればお書きください		
今後の継続刊行についてご意見をお聞かせください	次号があるならまた読みたい 次号はもっと入門的な内容を 定期刊行をのぞむ（年_____回程度） そのほか：	次号はもっと高度な内容を とくに次号以降に期待しない
次号以降の内容に関してのご要望があればお聞かせください	分野： 建築 橋梁 地盤 地下構造 上下水道 河川 港湾 環境 地震防災 その他（ ）	
	テーマ：	
本誌と関連の深い K K 解析ホームページについてお聞きします	前から見ていた ホームページのご感想を一言：	本誌で知ってアクセスした まだ見ていない
そのほか本誌あるいは業務内容などに関して、ご意見・ご要望・お問い合わせなどありましたらお書きください		

FAX 03 - 5342 - 1236 構造計画研究所「解析雑誌」編集担当行

**解析雑誌** *Journal of Analytical Engineering Vol.1 2000.9*

(株) 構造計画研究所 解析技術本部 編集・発行

〒164-0001 東京都中野区中央 5-4-3

TEL 03-5342-1136 FAX 03-5342-1236

e-mail : [kaiseki@kke.co.jp](mailto:kaiseki@kke.co.jp) URL : <http://www4.kke.co.jp>

本誌は非売品です。本誌掲載記事・広告の無断転載を禁じます。

Windows は米国マイクロソフト社の登録商標です。

*Journal of Analytical Engineering*  
*Vol.1 2000.9*

*Kozo Keikaku Engineering, Inc.*